

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie
(Leiter: Prof. Dr. Dr. R. Harndt)
der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des
Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

Der Fluoridgehalt in Zähnen syrischer Goldhamster

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde am
Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Florian Sachs
aus Nürnberg

1983



Aus der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie (Leiter : Prof. Dr. Dr. R. Harndt) der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Fachbereiches Zahn-, Mund- Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin.

Der Fluoridgehalt in Zähnen syrischer Goldhamster

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde am
Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Florian Sachs

aus Nürnberg

Referent: Prof. Dr. Dr. R. Harndt

Korreferent: Prof. Dr. H. Lenz

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität
Berlin

Promoviert am: 2. 8. 1983

Meinen Eltern gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsübersicht

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	7
2. Literaturübersicht	9
3. Material und Meßmethode	14
4. Eigene Untersuchungen	21
5. Ergebnisse	30
6. Diskussion	31
7. Fehlerrechnung	35
8. Zusammenfassung	39

Anhang

Literaturverzeichnis

Lebenslauf

1. Einleitung

In zahlreichen Veröffentlichungen wird ein Zusammenhang zwischen einem erhöhten Anteil an Fluoriden in Trinkwasser und einer Kariesreduktion angegeben.

In einer bisher unveröffentlichten Untersuchung von R. HINZE (31) wurde die Kariesanfälligkeit der Molaren syrischer Goldhamster nach Fluoridgabe durch fluoridiertes Trinkwasser unterschiedlicher Konzentration bestimmt. Mit steigender Fluoridkonzentration konnte jedoch kein gleichförmiger Rückgang der Kariesanfälligkeit festgestellt werden. Die Ergebnisse für eine bestimmte Konzentration fielen völlig aus dem Rahmen und konnten den anderen nicht zugeordnet werden.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ermittelt werden, wieviel Fluorid insgesamt in die Zähne der Versuchstiere von Hinze eingelagert wurde und welcher Zusammenhang zwischen Fluoridzufuhr im Trinkwasser und Einlagerung in die Zahnhartsubstanzen besteht.



Es sollte außerdem geprüft werden, ob sich das Meßverfahren mit der ionenselektiven Fluoridelektrode auch zur Ermittlung des Fluoridgehaltes in ganzen Zahnkronen eignet.

2. Literaturübersicht

Mit der Ordnungszahl 9 steht das Fluor in der 7. Hauptgruppe der zweiten Periode im Periodensystem der Elemente. Es hat, bezogen auf das $C^{12} = 12,00$, das Atomgewicht 19,00 (COTTON, WILKINSON, 10).

Das Fluor, als F_2 ein schwachgrünes zweiatomiges Gas, ist das reaktionsfähigste und am stärksten elektronegative Element. (SCHMIDT, 66)

Das als Verbindung wichtigste fluorhaltige Mineral ist der Flußspat, CaF_2 , dessen Name aus der Metallurgie stammt, da er dort als Flußmittel dient. Auf diese Eigenschaft geht auch der Name des Elements zurück. (lat. fluere = fließen).

Andere wichtige fluorhaltige Mineralien dieser Gruppe sind der Kryolith, der Topas und der Apatit. (HOFMANN, RÜDORFF, 32).

Entgegen der weitverbreiteten Meinung (KÖNIG, 43) kommt das Fluor auch elementar in der Natur vor.

Die radioaktive Wirkung begleitender Uransalze halten das Fluor in einer Varietät des Flußspats, dem Wölsendorfer Flußspat (mundartlich Stinkfluß), in elementarem Zustand. (HEINRICH, 29). Bekannt ist auch der dunkle Smaragd aus Limoges in der Haute-Vienne. 1894 schon entdeckte LEBEAU (45) das freie F_2 in diesem Schmuckgestein.

Die für den menschlichen Organismus biologisch wirksame Form des Fluors ist das Fluoridion. Nach KARLSON (36) ist das Fluorid ein Spurenelement, wobei die toxische Grenze

bei 5 mg/kg Körpergewicht liegt. Dabei entfallen auf die Hartgewebe des Körpers zwischen 96 und 99,3 % des Gesamtfluorids.

In die Zahnhartgewebe wird gemäß des Massenwirkungsgesetzes das Fluorid unter Austausch der OH^- Ionen nach folgender summarischer Gleichung in das Hydroxylapatit eingebaut:



Da der Austausch von OH^- durch F^- jedoch nicht vollständig ist, kommt eine Gleichung mit einem Ionenaustauschgleichgewicht den biologischen Verhältnissen näher (PILZ et al. 59)



Letztendlich liegt eine lückenlose Mischkristallreihe vor. In der Gleichung

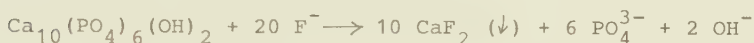


bedeutet die Klammer $[(1-n)\text{OH}, n\text{F}]$ das Nebeneinander von reinem Hydroxylapatit und reinem Fluorapatit in einem Substitutionsmischkristall (KNAPPWOST, 41).

Chemisch ist die Substitution von OH^- und F^- nur möglich, weil beide Ionen die gleiche Ladung, ein ähnliches Atomgewicht und vor allem den gleichen Molekül- bzw. Atomradius besitzen und die Hydrolyse- bzw. Kristallisationsgeschwindigkeit sehr klein ist. (COTTON, WILKINSON 10, SCHMIDT 66, KNAPPWOST, 42)

Insgesamt kommt es bei diesen isomorphen Mischungen zu maximal 70 % Fluorapatit, was einem Einbau von 0,4 bis

2,5 Gewichtsprozent Fluorid entspricht. Wegen der niedrigen Kristallisationsgeschwindigkeit des Apatits überhaupt, erfolgt die Bildung des Hydroxylapatits nur langsam. Die Geschwindigkeit steigt aber bei höherem Fluoridangebot. Andererseits unterdrückt nach RATHJE (62,63) und KNAPPWOST (42) ein Fluoridangebot über 18 ppm die Bildung des Fluorapatits völlig. Nach der Gleichung



zerfällt das Hydroxylapatit in CaF_2 , Phosphat- und Hydroxylionen.

Erstmals wird 1874 über das Fluorid als karieshemmende Substanz berichtet (ERHARDT,20).

Bereits 1896 verabreicht DENINGER (13) in Deutschland werdenden Müttern Calciumfluoridpräparate.

In den USA setzten DEAN et al. (12) auf Grund einer Studie über die Korrelation zwischen der Fluoridkonzentration des Trinkwassers und der Kariesfrequenz nach Vorschlägen von COX (11) die zentrale Anreicherung mit Natriumfluorid durch.

Obwohl nach PILZ (59,60),BINDER (5) und NAUJOKS (54) heute in 32 Ländern ca. 150 Millionen Menschen mit fluoridangereichertem Trinkwasser versorgt werden, bemüht man sich in Europa vielfach, Fluorid auf andere Weise zuzuführen. (WESPI,76,77,ZIEGLER,81,82,HELD,30)

Prinzipiell läßt sich zwischen praeeruptiver und post-eruptiver Fluoridierung der Zähne unterscheiden.

Bei der praeeruptiven Fluoridierung wird das Fluorid während der Mineralisation der Zähne in die Zahnhartsub-

stanz einbegaut. Darreichungsformen sind das Trinkwasser, Milch, Salz und Tabletten.

Bei der Aufnahme wird zwischen anorganischen und organischen Fluoriden unterschieden. In der Nahrung und in den Getränken handelt es sich meist um anorganische Fluoride, die dann freigesetzt und resorbiert werden. Die Resorption von leicht löslichem Fluorid, wie NaF, erfolgt nach BÜTTNER (7) im Magen-Darm-Trakt rasch und vollständig. Diese im Sinne einer Diffusion passive Resorption wird durch Calcium verzögert.

Nach BÜTTNER (7) ist auch die Retention des Fluorids im Körper nicht unbegrenzt. Durchschnittlich nur 30 % des aufgenommenen Fluorids werden bei anhaltender täglicher Zufuhr im Skelett eingelagert. Der Rest wird ebenso wie das durch gleichzeitige osteoklastische Vorgänge mobilisierte Fluorid über die Niere ausgeschieden. Daher kommt es nicht zu einer ständigen Fluoridakkumulation, sondern zu einer ausgeglichenen Bilanz im Skelett. (BÜTTNER, 7,8).

Bei der posteruptiven Fluoridierung soll das Fluorid von außen in den Schmelz der funktionstüchtigen Zähne eingelagert werden. Die Möglichkeiten reichen von der fluoridierten Zahnpasta über fluoridiertes Mundwasser sowie abwaschbarer Gele bis zu fluoridhaltigen Lacken. (MARKTHALER, 50; NAUJOKS, 54; SCHMIDT, 64,65; EICHLER et al. 17,18; MÜHLEMANN, 52)

Eine Hypothese der notwendigen Fluoridanreicherung in den äußeren Schmerzzschichten stellte MÜHLEMANN (51,53) auf. Danach stellen 1000 ppm, ein Wert, den im übrigen BRUDEVOLD et al. (6) einige Jahre zuvor schon annahmen, die optimale kariostatische Oberflächenkonzentration dar.

Ob letztlich bei nur kurzfristiger Einwirkungszeit eine Einlagerung von Fluorid von außen in das Kristallgitter

überhaupt möglich ist, muß nach den Untersuchungen von ENGEL und NEWESELY (19) sowie KNAPPWOST (41) und AHRENS (1) bezweifelt werden.

Sehr genaue Angaben über den Fluoridgehalt im Schmelz, insbesondere über Konzentrationsgradienten in Schmelzschichten sind erst seit ca. 15 Jahren möglich. Die Messung mit der ionenselektiven Elektrode brachte diese Präzisierung.

Während der Fluoridgehalt des Schmelzes oftmals bestimmt wurde, liegen nur wenige solcher Untersuchungen für das Dentin vor. Ohne Zweifel steigt jedoch, wie beim Schmelz, der Fluoridgehalt im Dentin mit einer steigenden Anreicherung im Trinkwasser. (YOON et al.79,80) Im Gegensatz zum Schmelz allerdings steigt im Dentin der Fluoridgehalt sowohl pulpawärts (JENKINS et al.35) als auch mit zunehmendem Alter (HARGREAVES et al. 28; JACKSON et al. 34)

Die großen Schwankungen des Fluoridgehaltes an verschiedenen Zähnen desselben Mundes sowohl im Schmelz (WEATHERell et al.73,74,75; GEDALIA et al. 21) als auch im Dentin (McCLURE et al. 48,49) dürfen hierbei nicht vernachlässigt werden. Ohne zusätzliche Fluoridierung ist aber nach NEWESELY (56) der Gesamtfluoridgehalt im Schmelz und Dentin nahezu gleich groß.

Eine Veröffentlichung verschiedener amerikanischer Ministerien (22) zeigt, daß Forschung über politische Grenzen hinweg international ist. In diesem Werk können die Übersetzungen der russischen Literatur zur Karieshemmung durch Fluoride nachgelesen werden.

Ein internationales Dokumentationszentrum in Wien bemüht sich darum, den Überblick über die anschwellende Publikationsflut halten zu können.

3. Material und Meßmethode

Das für diese Untersuchung verwendete Zahnmaterial stammte von syrischen Goldhamstern.

ARNOLD (2) entdeckte 1942 als erster kariöse Läsionen bei Goldhamstern, die er mit einer kohlenhydratreichen Diät gefüttert hatte.

In verschiedenen Untersuchungen stellten KEYES et al. die Vorteile der Goldhamster für die tierexperimentelle Kariesforschung heraus. KEYES (37,38,39,40) und später ORLAND (57) beschrieben eine bemerkenswerte Ähnlichkeit zwischen den grundlegenden Aspekten kariöser Prozesse beim Menschen und Hamster.

Auch TAATZ (69,70,71) beschäftigte sich mit der Struktur von Hamsterzähnen. Seine Erkenntnisse über die Ähnlichkeit in der Morphologie, Anatomie und Histologie zwischen Menschen- und Hamsterzähnen bekräftigen die früheren Empfehlungen, syrische Goldhamster für tierexperimentelle Kariesuntersuchungen zu verwenden. Gerade in diesen Punkten sind die als Versuchstiere ansonsten gut geeigneten Ratten den Hamstern unterlegen, wie ausführliche Untersuchungen von KÖNIG, MARTHALER und MÜHLEMANN zeigen. (44)

Das Zahnmaterial für diese Arbeit entstammt den Versuchsreihen von STIEFENHOFER (68) und HINZE (31).

Die Tiere, die zur Untersuchung gelangten, wurden, aufgeteilt in fünf Gruppen, während der gesamten Entwicklung und während der postnatalen Phase mit fluoridiertem Trinkwasser unterschiedlicher Konzentration ad libitum versorgt. Es wurden nur die Tiere der 4. und 5. Generation für die Versuche verwendet.

Die Tiere der Gruppen 0 bekamen doppelt-destilliertes Leitungswasser mit einem definierten Vitamin C Zusatz (30 mg : 100 cm³). Die Gruppe 1 erhielt ein mit NaF auf 1 ppm, die Gruppen 2, 4 und 6 entsprechend ein auf 2, 4 bzw. 6 ppm eingestelltes destilliertes Trinkwasser mit Ascorbinsäurezusatz.

Alle Hamster erhielten eine speziell abgestimmte Futtermischung der Firma Altromin.

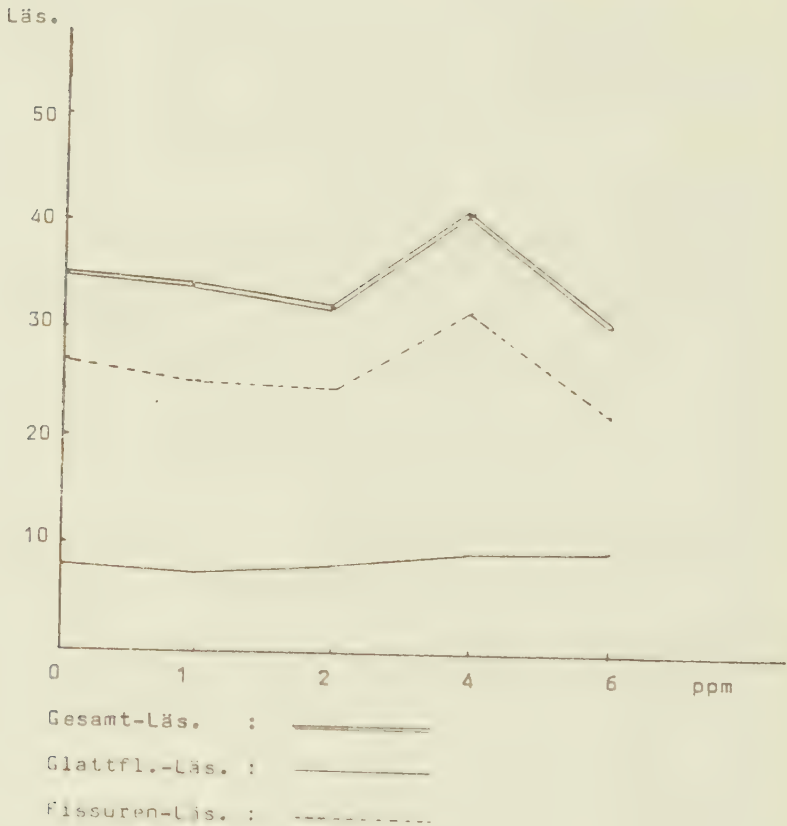
Die dritten Molaren bei Hamstern brechen zwar schon nach ca. 32 Lebenstagen durch, die Tiere sollten jedoch für den Versuch ausreichend kräftig sein. So wurde die Ernährung der Tiere erst nach 3 Monaten auf eine leicht veränderte kariogene Diät nach GUSTAFSON et al. umgestellt. (23,24,25) Nach weiteren 2 Monaten wurden die Versuchstiere getötet und die Kiefer herauspräpariert.

Die graphische Darstellung nach HINZE(31) (Abb.1) läßt die kariösen Läsionen bei den einzelnen Versuchsgruppen an den Fissuren und den Glattflächen der Molaren erkennen.

Hierbei überrascht vor allem der Kariesbefall in der Gruppe der Tiere, die mit 4 ppm Fluorid im Trinkwasser versorgt wurden, sowie die geringen Unterschiede zwischen den Gruppen 1, 2 und 6 ppm.

Aus dem Tiermaterial dieser Arbeit soll mit der vorliegenden Untersuchung der Fluoridgehalt in ganzen Zahnkronen ermittelt werden.

Graphische Darstellung der Durchschnittswerte gezählter
Läsionen:



(Nach HINZE,31)

Abb. 1

Methode der Fluoridbestimmung

Mit einer ionenselektiven Elektrode konnte nach Proben-
aufarbeitung der Fluoridgehalt der Zähne direkt bestimmt
werden. Die von A. HALLSWORTH et al. (26,27), L. SINGER
und W.D. ARMSTRONG (67), RABY et al. (61) sowie LINGANE
(46) perfektionierte Form der potentiometrischen Fluor-
Mikromethode bewährt sich nach allgemeiner Ansicht (W.
ENGEL, H. NEWSELY, 19), (K. CAMMANN, 9) für alle Fluorid-
bestimmungen aus Zahnproben.

Zum besseren Verständnis folgen nun einige Anmerkungen
zur Theorie der ionenselektiven Elektrode. Die techni-
schen Erläuterungen lehnen sich sehr eng an das Buch
von K. CAMMANN (9) an.

Ionenselektive Elektroden sind elektrochemische Halb-
zellen, bei denen an der Phasengrenze Elektrodenma-
terial/Elektrolyt eine Potentialdifferenz auftritt. Sie
gleichen im Aufbau den bekannten pH-Glaselektroden.
Der Meßvorgang verläuft wie bei der pH-Messung. Es sind
also nur ein genaues pH-Meßgerät sowie eine geeignete
Bezugselektrode notwendig. Entsprechend der pH-Skala
($\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$) wird eine Ionenskala für pF^- definiert
und diese Elektrode als pF^- -Elektrode bezeichnet.
(K. CAMMANN)

Die zur Zeit mit der beschriebenen Methode bestimmbaren
Ionen, die auf diese Elektroden direkt ansprechen, be-
trägt etwa dreißig. Durch die Weiterentwicklung der Me-
thodik steigt sie laufend.

Die Empfindlichkeit der ionenselektiven Elektroden
führt zu Nachweisgrenzen zwischen 10^{-5} und 10^{-23} mol/l.
Die für die Messung benötigte Mindestprobenmenge liegt
zwischen 0,05 und 1 ml.

Elektroden sind Einrichtungen, mit denen man Ladungsver-schiebungen und Ladungstrennungen, die an Phasengrenz-flächen entstehen, feststellen oder aber auch mittels eines aufgezwungenen Stromflusses erzeugen und verän-dern kann. Elektroden, die ein bestimmtes Ion in Gegen-ward anderer selektiv anzeigen, werden ionenselektiv genannt.

Die für Fluoridmessungen verwendeten Elektroden sind Einkristallmembran-Elektroden. Hierbei ist ein LaF_3 -Einkristall die aktive Elektrodenphase. Der Kristall weist eine Fluoridionen-Leitfähigkeit auf. Diese sorgt für die einzigartige Selektivität dieses Elektroden-typs. Wird eine fluoridselektive Elektrode mit einer geeigneten Bezugselektrode zu einer Meßkette zusammen-gefügt und in eine Lösung getaucht, die Fluoridionen ent-hält, so folgt die EMK der Fluoridionenaktivität der Lösung der Nernst-Gleichung gemäß:

$$E = E' - \frac{R \cdot T}{F} \ln a_{\text{F}^-}$$

oder bei 25° C

$$E = E' - 0,059 \log a_{\text{F}^-} \quad [\text{V}]$$

Hierbei bedeuten:

E = die EMK der Meßkette in einer Standardlösung

a_{F^-} = Aktivität des Meßions

R = universelle Gaskonstante

T = Temperatur in Grad Kelvin

F = Faradaysche Konstante

Die Selektivität des LaF_3 -Einkristalls ist so groß, daß selbst größte Überschüsse anderer Ionen, insbesondere PO_4^{3-} nicht miterfaßt werden. Auch Kationen beeinflus-sen die Bestimmung nicht.

Bei Messungen von Fluoridspuren macht sich ein Rühr-effekt (1 bis 10 mV) bemerkbar, der entweder auf die diffuse Ladungsverteilung der Fluoridionen vor der Meßelektrodenoberfläche zurückzuführen ist, oder auf eine entsprechende Veränderung des Diffusionspotentials an der Berührungsstelle von Bezugselektrode zu Elektrolyt bzw. Meßlösung. Messungen ohne Rühren sind daher nicht zu empfehlen. Bei genauestem Arbeiten im unteren Konzentrationsbereich (10^{-4} M) ist für stets gleiche hydrodynamische Verhältnisse zu sorgen, ebenso für gleiche Rührer, gleiche Rührgeschwindigkeit, gleiches Meßgerät, gleiche Meßlösungsvolumina und gleiche Eintauchtiefe und -winkel der Elektrode.

Die Nachweisgrenze ist durch die Löslichkeit des Einkristallmaterials in der Meßlösung gegeben. Dadurch wird in einer fluoridfreien Probe immer eine Fluoridaktivität angezeigt, die dem Löslichkeitsprodukt von LaF_3 entspricht. In neutralen Lösungen ergibt sich dennoch ein Arbeitsbereich von 1 bis 10^{-8} M.

Beim Arbeiten mit einer fluoridselektiven Elektrode muß nur mit drei Störungen gerechnet werden.

Im alkalischen Bereich bilden sich entsprechend der Löslichkeit des LaF_3 nach der Gleichung



zusätzliche Fluoridionen, die die Messung verfälschen.

Im sauren Bereich treten Wasserstoffionen mit Fluoridionen gemäß



zu undissoziierten Verbindungen zusammen, die nicht von der Elektrode erfaßt werden.

Die Abb. 2 gibt für die entsprechenden F^- -Konzentrationen den jeweils besten Arbeitsbereich an.

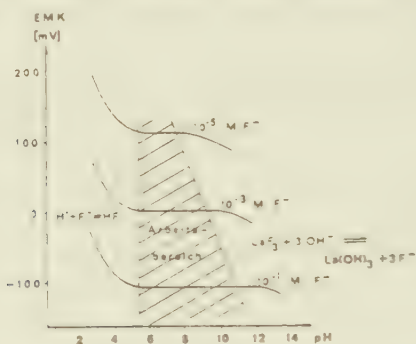


Abb. 24. pH-Abhängigkeit der EMK zwischen einer fluoridselektiven Einkristallmembran-Elektrode und einer Bezugselektrode

Abb. 2: aus K. CAMANN (9)

Aus dieser Abbildung geht hervor, daß für den untersten Konzentrationsbereich der für die Messung günstigste pH-Bereich zwischen 5 und 6 liegt. Mit einem geeigneten Puffer läßt sich dieser Bereich leicht einstellen.

Die letzte Störmöglichkeit ist das Silikat-Ion. Es bildet mit Fluoriden unlösliche Verbindungen. Lösungen unter $10^{-4} \text{ M } F^-$ können daher nicht in Glasgefäßen aufbewahrt und gemessen werden sondern ausschließlich in Kunststoffgefäßen.

4. Eigene Untersuchungen

Bisher wurden Fluoridmessungen meist auf die in definier- te Schmelzschichten eingebaute Fluoride beschränkt.

(WEATHERELL et al. 73,74,75)

Die Zähne der Hamstersind jedoch so klein, daß das Her- auslösen definierter gleichtiefer Schmelzschichten schlecht möglich ist. Deswegen ist es auch unmöglich, an diesen Zähnen eine reproduzierbar gleiche Schmelz- stelle zur Untersuchung festzulegen, wie WEATHERELL et al. (73,74,75) es fordern. Aus diesen Gründen wurden die gesamten Zahnkronen der Nagezähne sowie der ersten und dritten Molaren zur Untersuchung herangezogen.

Um die Messungen nicht zu beeinflussen, befanden sich die Kiefer mit den Zähnen der Tiere in nummerierten Glä- sern, wobei die Zuordnung zu den Fluoridwerten im Trink- wasser während der Messung nicht bekannt war. Die Kor- relation zu den Fluoridwerten erfolgte erst nach den Messungen. Die Molaren wiesen unterschiedlich große occlusalekariöse Defekte in den Fissuren auf. Um für alle Zähne etwa gleiche Verhältnisse zu schaffen, wurde bei allen Molaren die Karies durch einen ca. 0,2 mm starken Bohrer entfernt. Sodann wurden die Kronen der Zähne vorsichtig aus dem Kiefer herausgebrochen und nach Korrektur an der Bruchfläche auf ein bestimmtes Gewicht vorgewägt. Dabei ergab sich für die Molaren ein Vorgewicht von ca. 2,5 mg.

Die Werte der Nagezähne lagen bei ca. 25 mg. Alle Proben wurden in kleine Kölbchen gegeben und, um gleiche Verhältnisse zu schaffen, in einen Exicator überführt. Nur so konnten Gewichts differenzen durch un- terschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt ausgeschlossen wer- den. Dann erfolgten die endgültigen Einwaagen auf einer Microanalysenwaage der Firma Sartorius.

Diese Einwaagen sind in der Spalte 4 der Tabellen 3 bis 17 des Anhangs eingetragen.

Damit die späteren Messungen vergleichbar sind, wurde für die Einwaagen ein Korrekturfaktor errechnet, der auf 2,5 mg bzw. 25 mg für Molaren und Nagezähne bezogen ist. (Spalte 5, Tabellen 3 bis 17 im Anhang)

Für die Fluoridmessungen standen als Fluoridelektrode in Form einer Einstabelektrode, das Modell 96-09 der Firma Orion zur Verfügung, zur Auswertung das Digital-pH/mV-Meter Modell 701 A ebenfalls von Orion.

Mit diesen beiden Geräten ist eine "Direkt-Messung" möglich. Die Direkt-Messung ist die einfachste Methode, um eine größere Probenanzahl verarbeiten zu können. Sie erfordert die Erstellung einer Eichkurve der gemessenen Elektrodenpotentiale in Lösungen bekannter Aktivitäten und Konzentrationen. Die im Versuch festgestellten Konzentrationen werden nach der Messung der Potentiale direkt aus dieser Eichkurve abgelesen. Da es sich bei dem Meßgerät zur Feststellung der Potentiale um ein pH-Meßgerät handelt, der pH-Wert aber eine logarithmische Größe ist ($\text{pH} = \log a_{\text{H}^+}$), muß diese Abhängigkeit beim Zeichnen der Eichkurve berücksichtigt werden. Es wird daher für diese Graphik ein semilogarithmisches Millimeterpapier verwendet, wobei die Abszisse in logarithmische Dekaden aufgeteilt ist, die Ordinate aber eine numerische Einteilung trägt.

Da die Eichkurven über mehrere Dekaden erstellt werden können, ergibt sich ein sehr weiter Aktivitäts- und Konzentrationsbereich.

Bei Direktmessungen müssen die Analysenproben und die Teststandards der Eichkurve in stabilen, dauerhaften Lösungen vorliegen. Die Temperatur in allen Standards und

Proben muß gleich sein.

Da in dieser Untersuchung keine Aktivitäten, sondern nur Konzentrationen bestimmt werden, soll auch die Gesamtionenstärke in allen Proben und Standards gleich sein.

Versuchsdurchführung

Die Grundlagen des Versuchsaufbaus und der Ablauf der Messung mit der Fluoridelektrode folgen den Bedienungsanleitungen der beiden o.e. Geräten, den Anweisungen von ENGEL (19) und DURST (14,15,16) sowie einer privaten Mitteilung von TRAUTNER (72).

1a. Herstellung einer geeigneten Pufferlösung

Anhand der Bedienungsanweisung für die Fluoridelektrode wurde der Puffer "Tisab IV" hergestellt.

Ansatz: Zu ca. 500 ml aqua dest. werden 84 ml konz. HCl (7,3 M) und 242 g Tris (Hydroxymethylaminomethan) und anschließend 230 g Natriumtartrat ($\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) hinzugefügt. Diese Lösung wird nach Abkühlen auf Zimmertemperatur mit H_2O -dest. auf 1 l ergänzt.

1b. Herstellung einer 0,5 M HClO_4 (Perchlorsäure)

Sie wird zum Lösen der Proben benötigt.

Ansatz: Herstellung aus handelsüblicher 70 % HClO_4 .

Mol.gew. $\text{HClO}_4 = 100,46$

1 M $\text{HClO}_4 = 100,46 \text{ g/l} \rightarrow 10,046 \%$

$\sim 70 \% \text{HClO}_4 \sim 7 \text{ M}$

Durch Verdünnung im Verhältnis 1 : 14 erhält man $\sim 0,5 \text{ M HClO}_4$

Dichte von $\text{HClO}_4 \approx 1,67$

$$\frac{x \text{ (ml 70 \% HClO}_4\text{)}}{1,67} \cdot 14 \rightarrow 0,5 \text{ M HClO}_4$$

1c. Herstellung der Teststandards für die Eichkurve

Ansatz: Herstellung einer 1000 ppm F^- -haltigen Stammlösung durch Lösen von 2,2099 g NaF in 1 l H_2O dest.

Durch entsprechende Verdünnung werden die für das Erstellung der Eichkurve nötigen Teststandards erhalten. Damit in diesen Standards die gleiche Ionenstärke wie später in den Proben vorliegt, werden, wie in den Proben, die Verdünnungen mit HClO_4 und Tisab IV im Verhältnis 1 : 5 vorgenommen.

In der Spalte 1 der Tabelle 1 sind F^- -Konzentrationen der Teststandards im Bereich von 0,1 μg bis 1000,0 μg angegeben.

Spalte 2 zeigt die dazu gemessenen Elektrodenpotentiale in mV.

Hierbei ist das pH/mV-Meter so geeicht, daß sich bei 10,0 μg ein Potential von $\pm 0,0$ ergibt. Die Graphik 1 zeigt die ermittelte Eichkurve.

Tabelle 1

Konz. F^- in μg	Elektrodenpot. in mV
0,1	+ 230,3
0,25	+ 173,4
0,5	+ 156,6
0,75	+ 136,2
1,00	+ 108,9
2,50	+ 65,4
5,00	+ 36,8
7,50	+ 12,2
10,00	0,0
25,00	- 44,8
50,00	- 79,6
75,00	- 104,3
100,00	- 118,3
250,00	- 175,1
500,00	- 195,6
750,00	- 220,3
1000,00	- 231,8

GRAPHIK 1

EICHKURVE





2. Vorbereitung und Messung der Probenlösungen aus den Tierzähnen

Ansatz: Die eingewägten ersten und dritten OK- und UK-Molaren werden in Polyäthylenbecherchen überführt, in 1 ml vorbereiteter 0,5 M HClO_4 gelöst und mit Puffer Tisab IV auf 5 ml aufgefüllt. Bei den Nagezähnen werden die 10-fachen Volumina verwendet.

Unter kräftigem Rühren mit einem elektromagnetischen Rührer taucht in diese Probenlösung die Fluoridelektrode. Am pH/mV-Meter lassen sich dann die Elektrodenpotentiale ablesen.

In die Tabellen 3 - 17 des Anhangs ist folgendes eingetragen:

Spalte 6: Gemessene Potentiale in mV

Spalte 7: Abgelesene F^- -Werte in μg

Spalte 8: Korrigierte F^- -Werte in μg

Spalte 9: F^- -Werte in ppm

Beim Auswerten der Meßwerte ergab sich, daß die F^- -Werte ausnahmslos zwischen den logarithmischen Dekaden im Bereich von 0,1 bis 10,0 lagen. Es konnte deshalb eine aufgesteckte und damit genauere Graphik zum Ermitteln der F^- -Werte erstellt werden (Graphik 2).

Bei dieser Messung ist das Gesamtfluorid in den Hamsterzähnen bestimmt worden.

Die Hamster haben Fluorid nicht nur mit dem Trinkwasser aufgenommen, sondern auch mit dem Futter. Es mußten zur Berechnung der Basiswerte auch die Fluoridwerte in den beiden Futtermischungen bestimmt und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Hierzu wurden mehrere Einwaagen der Altromin Futtermischung sowie der kariogenen Diät nach GUSTAFSON (23, 24, 25) in HClO_4 gelöst und mit Puffer Tisab IV im Verhältnis 1 : 5 verdünnt.

Tabelle 2 zeigt die Einwaagen, die Elektrodenpotentiale und die F^- -Werte in μg und ppm.

Tabelle 2

1. Futtermischung Altromin:

Einwaage mg	Potential mV	$\text{F}^- \mu\text{g}$	$\text{F}^- \text{ppm}$
1002,4	124,5	0,81	0,81
934,7	125,0	0,79	0,85
1034,1	121,5	0,85	0,83
			0,83 =====

2. Kariogene Diät nach GUSTAFSON et al.

Einwaage mg	Potential mV	$\text{F}^- \mu\text{g}$	$\text{F}^- \text{ppm}$
1008,3	104,9	1,21	1,2
1120,5	99,5	1,34	1,2
914,6	105,5	1,18	1,3
			1,2 =====

5. Ergebnisse

Aus den Messungen ergeben sich die im Anhang wiedergegebenen Tabellen, aus denen folgende Ergebnisse abzulesen sind:

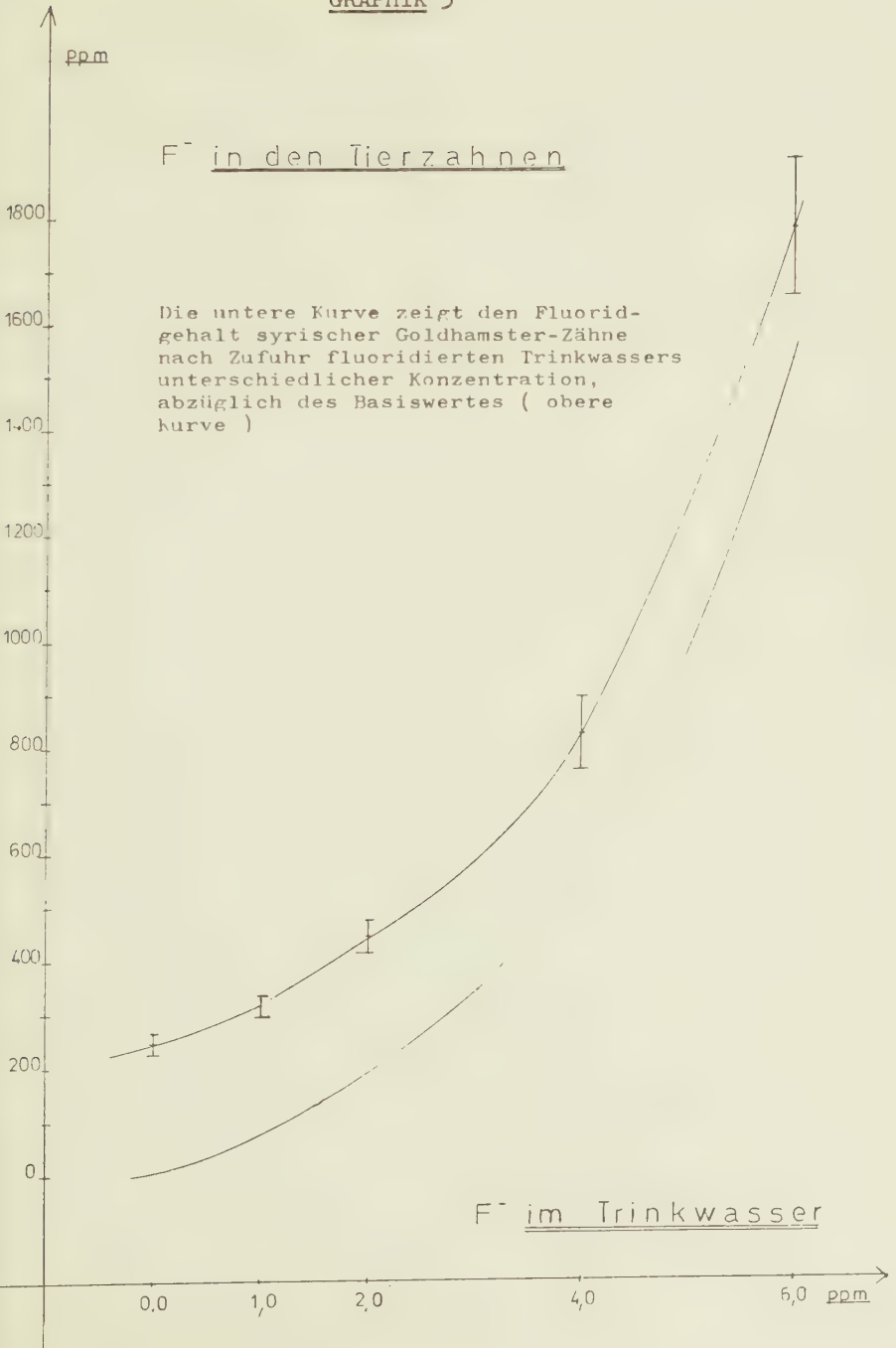
Der Fluoridgehalt der Zähne von syrischen Goldhamstern der 4. und 5. Generation steigt in Abhängigkeit vom Fluoridangebot im Trinkwasser progressiv:

- | | | |
|----------|--|---|
| 1. 0 ppm | <u>249,6</u> ppm $\pm$ 3,0 | $\frac{\Delta \text{ppm}}{\text{ppm}} = \pm 1,2 \%$ |
| | (Basiswert durch Fluoridzufuhr mit dem Futter) | |
| | Mittlerer Fehler der Einzelwerte | |
| | $\mu = \pm 19,2$ | $\pm 8 \%$ |
| 2. 1 ppm | <u>316,2</u> ppm $\pm$ 3,0 | $\frac{\Delta \text{ppm}}{\text{ppm}} = \pm 1,0 \%$ |
| | $\mu = \pm 18,8$ | $\pm 6 \%$ |
| 3. 2 ppm | <u>449,1</u> ppm $\pm$ 5,0 | $\frac{\Delta \text{ppm}}{\text{ppm}} = \pm 1,2 \%$ |
| | $\mu = \pm 29,4$ | $\pm 6,5 \%$ |
| 4. 4 ppm | <u>829,7</u> ppm $\pm$ 10,7 | $\frac{\Delta \text{ppm}}{\text{ppm}} = \pm 1,3 \%$ |
| | $\mu = \pm 69,3$ | $\pm 8,5 \%$ |
| 5. 6 ppm | <u>1787,3</u> ppm $\pm$ 19,6 | $\frac{\Delta \text{ppm}}{\text{ppm}} = \pm 1,1 \%$ |
| | $\mu = \pm 131,2$ | $\pm 7,5 \%$ |

Im Futter der Goldhamster sind folgende Fluoridmengen enthalten:

Altromin Futtermischung	0,83 ppm
Kariogene Diät	1,20 ppm

GRAPHIK 3



6. Diskussion

Das Ergebnis dieser Arbeit läßt eine progressive Zunahme des Fluoridgehalts der Zähne syrischer Goldhamster bei Steigerung des Fluoridangebots im Trinkwasser erkennen. Dies scheint den Angaben in der Literatur nicht zu widersprechen.

In der Literatur ist jedoch kein gleichlautender Versuchsansatz zu finden. Es gibt keine Untersuchung, in der der Fluoridgehalt im ganzen Zahn bei steigender Dosis im Trinkwasser untersucht wurde.

Lediglich YOON et al. (79,80) und BRUDEVOLD et al. (6) betrachten bestimmte Anteile des menschlichen Zahns unter dieser Fragestellung. Sie kommen dabei zu gleichartigen Ergebnissen. Auch bei ihnen steigt in den untersuchten Bereichen des Schmelzes und des Dentins der Fluoridgehalt in Abhängigkeit vom Fluoridierungsgrad des Trinkwassers.

Insgesamt scheint aber eine solche Aussage als reproduzierbares Ergebnis recht problematisch. So weisen WEATHERELL et. a. (73, 74, 75) in verschiedenen Untersuchungen darauf hin, daß der Fluoridgehalt in äußeren Schmelzschichten keine einheitliche Konzentration zeigt. Vielmehr bestehen nicht nur über die ganze Oberfläche, sondern auch in der Tiefe erhebliche Konzentrationsgradienten. Nach Mc. CLURE (48, 49) gibt es noch nicht einmal gleiche Werte in einer Mundhöhle.

Diese Schwankungen sollen auch im Dentin vorhanden sein (34, 47).

Mit den vorliegenden Ergebnissen ist dies nicht in Einklang zu bringen. Die berichtigten Meßwerte (Spalte 8 und 9 der Tabellen 3 - 17 im Anhang) weisen an den verschiedenen Zähnen eines Individuums lediglich Schwan-
kungsbreiten auf, die im Bereich des Meßfehlers liegen. Es besteht allerdings die Möglichkeit, daß die Konzen-
trationsschwankungen in Schmelzschichten durch das Messen des Fluorids in den ganzen Kronen ausgeglichen wird.

Dennoch muß festgestellt werden, daß es keine genaue mathematische Abhängigkeit des Fluoridgehalts im Trink-
wasser vom Fluoridgehalt in den Zahnhartgeweben gibt. Diese Feststellung ist im Wesen biologischer Versuche begründet. Viele Fragen der F^- - Aufnahme, des Trans-
portes und des Einbaus in das Kristallgitter sind unge-
klärt, über individuelle Unterschiede gibt es allerdings keine Zweifel.

Die Diskussion über die Abhängigkeit der Kariesanfällig-
keit vom Fluoridangebot gehört auch heute noch zu den umstrittenen Themen der Zahnheilkunde. Dies hat vor
allem seinen Grund darin, daß der Mechanismus der Ka-
rieshemmung auf Hypothesen beruht. Es gib bisher nur
statistische Untersuchungen, mit denen eine Reduktion
der Kariesanfälligkeit belegt wird.

Betrachtet man bei der Karieshemmung nur die mineralo-
gische Komponente, könnte man nach KNAPPWOST (41, 42)
eine höhere Säurebeständigkeit annehmen. Diese Hypothese
ist nach AHRENS (1) heute nicht mehr schlüssig. Es feh-
len Untersuchungen über die Korrelation zwischen dem
oberflächlichen Fluoridgehalt einzelner Zähne und
ihrer individuellen Kariesanfälligkeit. AHRENS (1)
hält solche Untersuchungen aber für undurchführbar.

Ein kritischer Punkt dieser Arbeit ist die Tatsache, daß ganze Zahnkronen untersucht wurden. Bisher wurden nur durch Anätzen abgetragene Schmelzschichten (ENGEL und NEWSELY, 19), pulverisierte Teile von Schmelz (Mc CANN et al. 47) oder Schmelz und Dentin getrennt (JACKSON et al. 34) analysiert.

In diesem Versuchsansatz bleibt das genaue Verhältnis Schmelz/Dentin unbekannt. Die Kenntnis der Anteile dieser beiden Zahnhartsubstanzen wird aber für den gewählten Versuchsansatz dann unwichtig, wenn zumindest deren Verhältnis in allen Proben gleich ist. Deshalb wurde für die vorliegende Arbeit bei der Einwaage der Zahnkronen versucht, ein annähernd gleiches Gewicht zu erhalten, weil nur so das Schmelz/Dentin-Verhältnis reproduzierbar ist. Auf eine flammenphotometrische PO_4^{3-} -Bestimmung nach Veraschung (Verfahren nach v. BELLE, 3) wurde nach einigen Vorversuchen verzichtet, da trotz genauester Einwaagen das Verhältnis Schmelz/Dentin auch aus PO_4^{3-} nicht bestimmbar war und sich somit keine Präzisierung ergab. Die Genauigkeit des Wägeverfahrens beweist die Fehlerberechnung.

Weiterhin muß die Fluoridaufnahme der Goldhamster mit der Nahrung kritisch betrachtet werden. Nach GUSTAFSON (24) ist die Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme bei Hamstern zwar körpertgewichtsabhängig, letztendlich aber konstant. STIEFENHOFER (68) konnte diese Untersuchung bestätigen. Es muß also diskutiert werden, ob das Nahrungsfluorid das Ergebnis verfälscht.

Nach HOROWITZ (33), PERDOCK (58) und BERGMANN (4) gehört das Fluorid zu den ubiquitär vorhandenen und essentiellen Spurenelementen. Jedes Individuum verfügt über eine gewisse Grundmenge an Fluorid.

NEWESELY (55) vertritt die Auffassung, daß eine Kristallisation von Apatitkeimen aus der Hartgewebematrix ohne Fluoridanwesenheit unmöglich ist. Einen Basisfluoridwert zeigt diese Untersuchung für die Hamster der 0 ppm-Gruppe (Graphik 3). Dieser Basiswert kann zwanglos auf alle anderen Versuchsgruppen übertragen werden.

Die untere Kurve der Graphik 3 zeigt den Anstieg des Fluoridgehalts in den Zähnen aller Gruppen ohne den Basiswert. Deutlich ist dabei zu sehen, daß der prinzipielle Charakter des Anstiegs erhalten bleibt. So ist der Schluß erlaubt, daß das Nahrungsfluorid das Gesamtergebnis nicht beeinflußt.

Bedingt durch das vorhandene Untersuchungsmaterial konnten zwei Fragenkomplexe nicht beantwortet werden:

1. Die Tiere waren zu Beginn der Untersuchungen ca. ein halbes Jahr alt.
Es wäre deshalb interessant zu wissen, wie sich der Fluoridgehalt in den Zähnen mit steigendem Alter verhält.
2. Mit den Untersuchungen dieser Arbeit wurde nur die Korrelation des Fluoridgehalts in den Hamsterzähnen mit dem Fluoridangebot bis 6 ppm ermittelt.
Ungeklärt bleibt aber der Fluoridgehalt bei weiterem Anstieg des Fluoridangebots.

7. Fehlerrechnung

Die Glaubwürdigkeit des Ergebnisses einer Messung hängt davon ab, wie das Ergebnis vom wahren Wert unter Versuchsbedingungen abweicht.

Im allgemeinen liefert die Streuung der Einzelergebnisse um ihren Mittelwert, Hilfen zur Urteilsbildung. Dieser Urteilsbildung dient die Fehlerrechnung. Manchmal empfiehlt es sich, den Ansatz für die Fehlerrechnung schon vor der Ausführung der Messungen zu erstellen, da er oft wichtige Hinweise dafür gibt, bei welchen Teilen der Messung besondere Sorgfalt geboten ist. In jedem Fall hat die Fehlerrechnung den wichtigen Zweck, die Meßergebnisse in ihrer Aussage nicht zu überschätzen. Durch die Fehlerrechnung werden die Grenzen der Meßmethoden aufgezeigt, innerhalb derer man sich auf die Richtigkeit verlassen kann.

Bei jeder Messung ist es schwer, den zuverlässigsten oder den Bestwert der Messung anzugeben, d.h. einen Wert anzugeben, der dem wahren Wert am wahrscheinlichsten besonders nahe kommt. Nach den Gaußschen Gesetzen gilt als Bestwert derjenige Wert, der die Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu einem Minimum macht.

WESTPHAL (78) fordert daher:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k = \frac{1}{n} [\bar{x}] \quad (1)$$

Hierbei ist das in der Fehlertheorie übliche Formelzeichen für die Summe über alle Einzelwerte x_k .

Hier ist $v_k = x - x_k$ der Fehler der Einzelwerte, für die im allgemeinen kleinen Abweichungen der Einzelwerte x_k vom Bestwert.

Aus (1) folgt daher $\sum v_k = [v] = 0$

Als mittleren quadratischen oder einfach mittleren Fehler der Einzelwerte x_k ergibt die Theorie:

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

und als Fehler des Mittelwertes:

$$x = \frac{\mu}{n} = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$$

Dabei ist $[vv] = \sum v_k^2$.

Darum ist der Fehler des Mittelwerts um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{n}}$ kleiner als der mittlere Fehler der Einzelwerte.

Zur Vereinfachung sind in den Tabellen 3 - 17 dieser Arbeit nur die Zahlenwerte von v , v^2 und $[vv]$ angegeben. Diese Berechnung ermittelt aber nur einen absoluten Fehler. Um eine wirkliche Aussage treffen zu können, benötigt man aber auch den relativen Fehler ($\frac{\Delta x}{x}$). Er wird üblicherweise in % angegeben und ist damit unabhängig von der gewählten Einheit, da diese sich heraushebt.

Nun gibt aber weder der relative noch der absolute Fehler eine Auskunft über die Genauigkeit der Untersuchungsmethode. Beide Fehlerangaben zeigen nur, ob für das angewendete Meßverfahren eine ausreichende Anzahl an Einzelmessungen durchgeführt wurde. Bei einem niedrigen relativen Fehler ist gewährleistet, daß auch bei einem ungenauen Verfahren durch eine hohe Zahl an Einzelmessungen die Abweichung vom Bestwert klein wird.

Wie präzise der Gesamtversuchsansatz ist, zeigt die mittlere Abweichung des Einzelwertes (μ) vom Bestwert.

Daher wurden in dieser Arbeit der gesamte und relative Fehler sowie " μ " und dessen prozentuale Abweichung angegeben.

Bei den meisten wissenschaftlichen Arbeiten handelt es sich um die Ermittlung von Größen, die aus einer oder mehreren unmittelbar folgenden Messungen errechnet werden, also um ein zusammengesetztes Ergebnis. Man könnte also auch die Fehlermöglichkeiten der einzelnen Versuchsansätze theoretisch abschätzen und dann zu einem Gesamtfehler addieren.

Ohne Zweifel gibt es in dieser Arbeit, wie im Übrigen in jeder wissenschaftlich-praktischen Arbeit, Bereiche, in die sich unvermeidliche Ungenauigkeiten und damit auch theoretisch diskutierbare Fehler eingeschlichen haben.

Diese Ungenauigkeiten beginnen in dieser Untersuchung schon mit dem Problem des Tierversuchs an sich. Die Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme der Einzeltiere ist letztlich genauso wenig reproduzierbar wie eine Aussage über die Sorgfalt der Tierhaltung. Es ist schlicht nicht möglich, über die Tierhaltung Fehlerangaben in Zahlenwerten zu machen.

Sehr wohl lassen sich jedoch theoretische Fehlerzahlen für die einzelnen praktischen Arbeitsschritte machen:

1. Wägefehler und Fehler durch die Unkenntnis des genauen Verhältnisses Schmelz / Dentin

- ca. 10 %

2. Systematischer Fehler der Fluoridelektrode bei Messungen im μg -Bereich

- ca. 2,5 %

3. Ungenauigkeiten beim Erstellen der Eichkurve sowie Ungenauigkeiten beim Ablesen aus der Eichkurve - ca. 2,5 %

Diese 15 % theoretischer Fehler sind nun fast doppelt so groß wie die errechnete prozentuale mittlere Abweichung vom Einzelwert.

Da es sich bei dem theoretischen Fehler um eine Addition von Einzelfehlern handelt, die Richtung dieser Fehler aber unberücksichtigt bleibt und also auch gegen Null gehen kann, ergibt sich nicht zwangsläufig ein Widerspruch zum errechneten Wert.

Abschließend läßt sich daher sagen, daß der Versuchsansatz dieser Arbeit mit der genauesten Ermittlung der F^- -Werte in jedem einzelnen Versuchszahn überfordert ist.

Dieser Versuchsansatz ist jedoch durchaus in der Lage, die in der Diskussion dargestellten Angaben zu machen.

8. Zusammenfassung

Bei der Ermittlung der Fluoridwerte in Molaren und Nagezähnen syrischer Goldhamster mit der ionenselektiven Fluoridelektrode konnte festgestellt werden:

1. Der Fluoridgehalt der Hamsterzähne steigt mit zunehmendem Fluoridangebot.
2. Der Anstieg des Fluoridgehaltes ist nicht linear.
3. Ein mit der Nahrung zugeführter Basisfluoridwert hat keinen Einfluß auf diesen Anstieg.
4. Die Fehlerbetrachtung zeigt die ausreichende Genauigkeit des Versuchsansatzes.
5. Im Vergleich mit der Literatur weisen die Ergebnisse Widerspruch auf.

ANHANG

TABELLE 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Einwaage [mg]	Korr.-faktor 2,5/25mg	Potential [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
0	1 (6)	H ¹	2,79	0,869	130,6	0,71	0,636	254,4	4,8	23,04
		M ³	2,73	0,9157	131,3	0,695	0,636	254,4	4,8	23,04
		H ₁	2,84	0,8802	129,4	0,73	0,643	257,2	7,6	57,76
		M ₃	2,81	0,8896	133,2	0,67	0,596	238,4	11,2	125,44
0	2 (15)	M ¹	2,59	0,9652	132,6	0,68	0,656	262,4	12,8	163,84
		M ³	2,52	0,9920	140,6	0,58	0,575	230,0	19,6	384,16
		M ₁	2,50	1,000	136,2	0,63	0,630	252,0	2,4	5,76
		M ₃	2,87	0,8710	128,1	0,72	0,627	250,8	1,2	1,44
0	3 (20)	H ¹	2,82	0,8865	130,4	0,71	0,630	252,0	2,4	5,76
		M ³	2,63	0,9505	138,2	0,60	0,573	229,2	20,4	416,16
		M ₁	2,78	0,8992	137,3	0,615	0,553	221,2	28,4	806,56
		M ₃	2,49	1,0040	138,4	0,60	0,602	240,8	-8,8	77,44
		Nagez.	26,34	0,9491	140,4	0,58	0,550	220,0	-29,6	876,16

Mittelwert:

VV

TABELLE 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd. NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
0	4 (26)	M ¹	2,34	1,0683	141,3	0,57	0,608	243,2	-6,4	40,96
		M ²	2,95	0,8474	124,2	0,81	0,686	274,4	24,8	615,04
		M ₁	2,31	1,0822	138,3	0,60	0,649	259,6	10,0	100,00
		M ₂	2,84	0,8802	136,3	0,625	0,550	262,0	12,4	265,36
		Nagez.	26,53	0,9423	133,2	0,67	0,631	252,4	2,8	7,84
0	5 (27)	M ¹	2,30	1,0869	135,3	0,65	0,706	282,4	32,8	1075,84
		M ²	2,55	0,9803	140,8	0,575	0,563	225,2	-24,4	595,36
		M ₁	2,36	1,0593	136,2	0,63	0,667	266,8	17,2	295,84
		M ₂	2,19	1,1415	139,3	0,59	0,673	269,2	19,6	384,16
		Nagez.	26,15	0,9560	132,4	0,65	0,590	236,0	-13,6	184,96
0	6 (29)	M ¹	2,84	0,8928	131,3	0,70	0,624	249,6	9,0	0,00
		M ²	2,40	1,0417	140,6	0,58	0,604	241,6	-8,0	64,00
		M ₁	2,56	0,9766	140,2	0,58	0,566	229,4	-23,2	538,24
		M ₂	2,82	0,8865	128,4	0,745	0,660	264,0	14,4	207,36
		Nagez.	23,60	1,0593	136,3	0,63	0,667	266,8	17,2	275,84

Mittelwert:

VV

TABELLE 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
0	7 (37)	M ¹	2,48	1,0081	130,3	0,71	0,715	286,0	36,4	1324,96
		M ²	2,99	0,8361	135,2	0,65	0,543	217,2	-32,4	1049,76
		M ₁	2,36	1,0593	136,2	0,63	0,667	266,8	17,2	295,84
		M ₂	2,84	0,8802	136,3	0,625	0,555	262,0	12,4	153,76
		Nagez.	24,91	1,0042	138,4	0,60	0,602	240,8	-8,8	77,44
0	8 (57)	M ¹	2,73	0,9257	138,3	0,60	0,549	219,6	-30,0	900,00
		M ²	2,61	0,9578	140,1	0,58	0,555	222,0	-27,6	761,76
		M ₁	2,82	0,8865	128,4	0,745	0,660	264,0	14,4	207,36
		M ₂	2,99	0,8361	133,4	0,675	0,564	225,6	-24,0	576,00
		Nagez.	21,05	1,1876	140,3	0,58	0,688	275,2	25,6	655,36
0	9 (59)	M ¹	2,72	0,9191	136,3	0,625	0,620	248,0	-1,6	2,56
		M ²	2,93	0,8532	128,7	0,735	0,627	250,8	1,2	1,44
		M ₁	2,44	1,0245	130,3	0,71	0,727	290,8	41,2	1697,44
		M ₂	2,99	0,8361	133,4	0,70	0,585	234,0	-15,6	243,36
		Nagez.	23,58	1,0602	139,3	0,59	0,626	250,4	0,8	0,64

Mittelwert: 249,6

[vv]_{15585,02}

TABELLE 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.Nr.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
1	10 (9)	M ¹	2,81	0,8895	121,3	0,85	0,757	302,4	-13,8	190,44
		M ³	2,84	0,8802	118,2	0,91	0,802	320,8	4,6	21,16
		M ₁	2,76	0,9058	125,3	0,79	0,713	285,2	-31,0	961,00
		M ₂	2,72	0,8992	124,6	0,80	0,7193	287,0	-29,2	852,64
		Nagez.	23,21	1,0775	125,6	0,79	0,851	340,4	24,2	585,64
1	11 (19)	M ¹	2,89	0,8650	120,1	0,88	0,761	304,4	-11,8	139,24
		M ³	2,61	0,9578	121,3	0,85	0,814	325,6	9,4	88,36
		M ₁	2,90	0,8620	118,2	0,915	0,788	315,2	-1,0	1,0
		M ₂	2,43	1,0288	126,3	0,77	0,792	316,8	0,6	0,36
		Nagez.	27,01	0,9259	123,2	0,74	0,685	274,0	-42,2	1780,84
1	12 (41)	M ¹	2,71	0,9225	118,3	0,91	0,839	335,6	19,4	376,36
		M ³	2,68	0,9328	125,3	0,79	0,736	294,4	-21,8	475,24
		M ₁	2,43	1,0288	123,7	0,825	0,848	339,2	23,0	529,0
		M ₂	2,38	1,0504	122,6	0,84	0,882	352,8	36,8	1359,56
		Nagez.	24,24	1,0313	126,4	0,77	0,784	317,6	1,4	1,96

Mittelwert:

vv

TABELLE 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
1	13 (44)	M ¹	2,31	1,0822	128,4	0,745	0,806	322,4	6,2	38,44
		M ³	2,19	1,1415	127,3	0,76	0,867	346,8	30,6	936,36
		M ₁	2,85	0,8771	120,4	0,87	0,763	305,2	-11,0	121,00
		M ₃	2,93	0,8532	119,6	0,90	0,767	306,8	-9,4	88,36
1	14 (52)	M ¹	2,20	1,1363	131,6	0,695	0,789	315,6	-0,6	0,36
		M ³	2,41	1,0373	130,3	0,71	0,736	294,4	-21,8	475,24
		M ₁	2,92	0,8551	120,4	0,87	0,763	305,2	-11,0	121,00
		M ₃	2,76	0,9058	120,3	0,87	0,788	315,2	-1,0	1,00
1	15 (56)	M ¹	2,23	1,1210	125,3	0,79	0,885	354,0	37,8	1428,84
		M ³	2,56	0,9739	124,6	0,805	0,784	313,6	-2,6	9,36
		M	2,81	0,8896	119,3	0,90	0,80	320,0	3,8	14,44
		M	2,84	0,8802	120,4	0,87	0,788	315,2	-1,0	1,00
		Magez.	23,67	1,0562	128,4	0,745	0,786	314,4	-1,8	3,24

Mittelwert:

vv

TABELLE 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd. NR.	Zahn	Einwaage [mg]	Korr.-faktor 2,5/25mg	Potential [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
2	18 (8)	M ¹	2,94	0,8503	100,3	1,31	1,113	445,2	-3,9	15,21
		M ²	2,59	0,9652	106,3	1,20	1,158	463,2	14,1	198,81
		M ₁	2,26	1,1062	117,4	0,93	1,028	411,2	-37,9	1436,41
		M ₃	2,93	0,8532	96,4	1,42	1,211	484,4	35,3	1246,09
		Nagez.	24,81	1,0080	110,3	1,17	1,174	471,6	22,5	506,25
2	19 (22)	M ¹	2,84	0,8802	100,4	1,31	1,1530	461,2	12,1	146,41
		M ³	2,83	0,8833	99,4	1,34	1,183	473,2	24,1	580,81
		M ₁	2,57	0,9090	101,3	1,31	1,181	472,4	23,3	542,89
		M ₃	2,79	0,8960	102,5	1,29	1,155	462,0	12,9	166,41
		Nagez.	22,63	1,1047	114,3	0,99	1,0936	437,4	-11,7	136,89
2	20 (47)	M ¹	2,85	0,8772	97,3	1,40	1,228	491,2	42,1	1772,41
		M ³	2,87	0,8710	106,7	1,16	1,010	404,0	-45,1	2034,01
		M ₁	2,40	1,0416	110,3	1,15	1,197	478,8	29,7	882,09
		M ₃	2,69	0,9293	110,4	1,15	1,068	427,2	-21,9	479,61
		Nagez.	25,10	0,9960	103,6	1,24	1,235	494,0	44,9	2016,01

Mittelwert:

vv

TABELLE 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd. NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
2	21 (51)	M ¹	2,95	0,8474	106,3	1,20	1,016	406,4	-42,7	1823,29
		M ²	2,83	0,8834	101,2	1,30	1,148	459,2	10,1	102,01
		M ₁	2,91	0,8591	96,3	1,42	1,219	487,6	38,5	1482,25
		M ₂	2,43	1,0288	108,4	1,13	1,162	464,8	15,7	246,49
2	22 (50)	M ¹	2,52	0,9689	110,3	1,17	1,016	406,4	-42,7	1823,29
		M ²	2,92	0,8561	98,7	1,75	1,148	459,2	10,1	102,01
		M ₁	2,84	0,8802	100,3	1,31	1,155	462,0	12,9	166,41
		M ₂	2,81	0,8896	100,7	1,32	1,174	469,6	20,5	420,25
		Nagez.	25,59	0,9769	165,3	1,19	1,162	464,8	15,7	246,49
2	23 (62)	M ¹	2,61	0,9578	104,3	1,23	1,178	471,2	22,1	488,41
		M ²	2,49	1,0040	106,2	1,20	1,204	481,6	32,5	1056,25
		M ₁	2,93	0,8532	100,3	1,31	1,117	468,0	19,9	396,01
		M ₂	2,84	0,8802	99,6	1,34	1,179	471,6	22,5	506,25
		Nagez.	24,37	1,0258	103,3	1,25	1,282	512,8	63,7	4057,69

Mittelwert:

vv

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

[illegible]

Mittelwert: 449,1

[vv] ~ 32941, 44

TABELLE 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trink- wasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
4	26 (2)	M ¹	2,65	0,9433	71,3	2,40	2,263	905,5	75,8	5745,6
		M ³	2,81	0,8896	70,6	2,45	2,179	871,8	42,1	1772,4
		M ₁	2,19	1,1415	89,3	2,16	2,464	985,8	156,1	24367,2
		M ₃	2,76	0,9058	69,4	2,50	2,264	905,8	76,1	5791,2
		Nagez.	21,90	1,1415	89,3	2,16	2,464	985,8	156,1	24367,2
4	27 (7)	M ¹	2,73	0,9157	71,3	2,40	2,197	879,0	49,3	2430,4
		M ³	2,93	0,8532	65,4	2,73	2,329	931,6	101,9	10383,6
		M ₁	2,69	0,9293	73,6	2,30	2,137	854,9	25,2	635,0
		M ₃	2,94	0,8503	67,3	2,61	2,219	887,7	58,0	3364,0
4	28 (14)	M ¹	2,92	0,8561	66,4	2,65	2,268	907,2	77,5	6006,2
		M ³	2,75	0,9090	74,3	2,25	2,045	818,0	-11,7	136,8
		M ₁	2,43	1,0288	80,6	1,97	2,026	810,4	-19,2	372,5
		M ₃	2,79	0,8960	72,4	2,35	2,105	842,0	12,3	151,2
		Nagez.	27,84	0,8970	80,3	2,00	1,795	788,0	-41,7	1738,9

Mittelwert:

vv

TABELLE 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd. NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	Korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
4	29 (13)	M ¹	2,34	1,0683	90,8	1,83	1,711	796,4	-33,3	1108,9
		M ²	2,48	1,0080	84,3	1,86	0,874	749,6	-80,1	6416,0
		M ₁	2,21	1,1312	92,6	1,55	1,753	701,2	-128,5	16512,2
		M ₃	2,63	0,9505	86,4	1,75	1,963	745,2	-84,5	7140,2
		Nagez.	19,90	1,2562	92,6	1,55	1,947	778,4	-51,3	2631,7
4	30 (21)	M ¹	2,18	1,1468	91,4	1,58	1,811	724,4	-105,3	11088,0
		M ²	2,43	1,0288	95,4	1,79	1,841	736,4	-93,3	8704,9
		M ₁	2,42	1,0330	86,4	1,75	1,807	722,8	-106,9	11427,6
		M ₃	2,81	0,8896	80,6	2,01	1,788	715,2	-114,5	13110,2
		Nagez.	25,34	0,9865	78,3	2,08	2,051	820,4	-9,3	86,5
4	31 (33)	M ¹	2,09	1,1961	90,8	1,63	1,949	779,6	-50,1	2510,0
		M ²	2,14	1,1682	74,3	2,26	2,040	816,0	-13,7	187,7
		M ₁	2,93	0,8532	70,4	2,47	2,107	842,8	13,1	171,6
		M ₃	2,31	1,0822	76,4	2,17	2,248	859,2	29,5	870,2
		Nagez.	27,43	0,9114	76,2	2,18	1,986	794,4	-35,3	1246,1

Mittelwert:

vv

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
4	32 (43)	N ¹	2,23	0,9881	75,4	2,23	2,203	881,2	51,5	2652,5
		N ²	2,82	0,8865	72,4	2,35	2,083	883,2	53,5	2862,2
		N ₁	2,76	0,9057	78,2	2,08	1,883	755,6	-74,1	5490,8
		N ₂	2,54	0,9842	76,3	2,17	2,135	854,0	24,3	590,5
		Nagez.	22,19	1,1266	83,6	1,86	2,095	838,0	8,3	68,9
4	33 (54)	N ¹	2,84	0,8902	72,4	2,35	2,068	827,2	-2,5	6,3
		N ²	2,91	0,8591	70,8	2,45	2,104	841,6	11,9	141,6
		N ₁	2,53	0,9881	76,2	2,17	2,144	857,6	27,9	778,4
		N ₂	2,95	0,8474	68,3	2,56	2,169	867,6	37,9	1436,4
4	34 (55)	N ¹	2,21	0,8696	71,4	2,43	2,161	864,4	34,7	1204,1
		N ²	2,78	0,8992	73,4	2,30	2,008	827,2	-2,5	6,2
		N ₁	2,43	1,0288	80,6	1,97	2,025	810,4	-19,3	372,5
		N ₂	2,82	0,8865	79,3	2,05	1,813	725,2	-104,5	10920,2

Mittelwert: 829,7

[v] = 197003,3

TABELLE 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Bin- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
6	35 (3)	M ¹	2,70	0,9259	38,5	4,75	4,308	1759,2	-28,1	789,6
		M ³	2,65	0,9434	32,0	5,40	5,094	2037,6	250,3	62650,1
		M ₁	2,41	1,0373	43,4	4,30	4,400	1784,0	-3,3	10,9
		M ₂	2,49	1,0040	35,9	5,00	5,080	2008,0	220,7	48708,5
		Nagez.	22,01	1,1358	52,3	3,55	4,032	1612,8	-174,5	30450,2
6	36 (4)	M ¹	2,81	0,8846	31,4	5,45	4,848	1939,2	151,9	23073,6
		M ³	2,74	0,9124	36,4	4,75	4,334	1733,6	-53,7	2883,7
		M ₁	2,31	1,0822	47,9	3,90	4,220	1688,0	-99,3	9860,5
		M ₂	2,73	0,9157	40,7	3,92	4,637	1854,8	67,5	4556,2
		Nagez.	26,52	0,9426	42,6	4,35	4,100	1640,0	-147,3	21697,3
6	37 (13)	M ¹	2,30	1,0969	48,4	3,85	4,184	1673,0	-114,3	13064,5
		M ³	2,32	1,0775	47,3	3,82	4,080	1632,0	-155,3	24118,1
		M ₁	2,38	1,0504	47,7	3,94	4,138	1655,2	-132,1	17450,4
		M ₂	2,85	0,8772	29,6	4,90	5,052	2002,8	215,5	46440,2
		Nagez.	26,09	0,9582	36,0	5,00	4,791	1916,4	129,1	16666,8

Mittelwert:

vv

TABELLE 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Ein- waage [mg]	Korr.- faktor 2,5/25mg	Poten- tial [mV]	F ⁻ [μg]	korr. F ⁻ [μg]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
6	38 (23)	M ¹	2,43	1,0288	43,3	4,30	4,423	1709,5	-17,8	316,8
		M ³	2,54	0,9842	45,0	4,13	4,064	1625,6	-161,7	26146,9
		M ₁	2,01	1,2437	39,1	4,70	4,784	1913,6	125,7	15800,5
		M ₂	2,91	0,8591	31,8	5,45	4,682	1872,8	85,5	7310,2
		Nagez.	24,17	1,0343	38,4	4,75	4,913	1965,2	177,9	31648,4
6	39 (28)	M ¹	2,83	0,8834	33,4	5,39	4,763	1905,2	117,9	13900,4
		M ³	2,70	0,9259	38,4	4,75	4,398	1759,2	-28,1	789,6
		M ₁	2,38	1,0504	46,1	4,13	4,353	1741,2	-46,1	2125,2
		M ₂	2,64	0,9469	38,4	4,75	4,497	1798,8	11,5	132,2
		Nagez.	24,03	1,0403	42,6	4,35	4,537	1814,8	27,5	756,3
6	40 (30)	M ¹	2,68	0,9328	33,4	4,75	4,430	1772,0	-15,3	234,1
		M ³	2,32	1,0775	42,0	4,41	4,762	1904,8	117,5	13806,2
		M ₁	2,93	0,8532	29,6	5,66	4,830	1932,0	144,7	20938,1
		M ₂	2,89	0,8650	32,5	5,35	4,636	1854,4	57,1	3831,4
		Nagez.	26,49	0,9437	38,4	4,75	4,482	1792,8	5,5	30,2

Mittelwert:

vv

TABELLE 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trinkwasser [ppm]	Lfd.NR.	Zahn	Einwaage [mg]	Korr.-faktor 2,5/25mg	Potential [mV]	F ⁻ [μ g]	korr. F ⁻ [μ g]	F ⁻ [ppm]	v	v ²
6	41 (32)	M ¹	2,89	0,8650	27,7	6,15	3,197	1727,6	-59,7	3564,1
		M ²	2,31	1,0822	46,3	4,01	4,342	1732,2	-55,1	3036,0
		M ₁	2,58	0,9689	28,4	4,79	4,650	1860,0	72,7	5285,3
		M ₂	2,61	0,9578	38,3	4,76	4,559	1823,6	36,3	1317,7
		Nagez.	23,83	1,0494	38,4	4,75	4,984	1993,6	206,3	42002,7
6	42 (35)	M ¹	2,53	0,9881	40,8	4,52	4,478	1790,0	2,7	7,3
		M ²	2,93	0,8532	29,0	5,75	4,905	1962,0	174,7	30520,1
		M ₁	2,32	1,0775	46,7	4,00	4,310	1724,0	-63,3	4006,9
		M ₂	2,96	0,8445	30,4	4,65	3,926	1570,4	-216,9	47045,6
		Nagez.	28,17	0,8874	41,7	4,51	4,010	1604,0	-183,3	33598,9
6	43 (65)	M ¹	2,58	0,9765	40,5	4,55	4,443	1777,2	-10,1	102,0
		M ²	2,62	0,9541	46,7	4,00	3,816	1545,6	-241,7	58418,9
		M ₁	2,41	1,0373	49,8	3,77	3,894	1557,6	-229,7	52762,1
		M ₂	2,17	1,1520	49,9	3,75	4,320	1728,0	-59,3	3516,5
		Nagez.	26,01	0,9612	42,8	4,36	4,190	1676,0	-111,3	12387,7

Mittelwert: 1787,3

[vw] $\curvearrowright$ 757757,5

Literaturverzeichnis

1. Ahrens, G. Wie wirkt Fluorid in der
Kariesprophylaxe?
Karies Prophylaxe 4, 107 (1981)
2. Arnold, F.A. The production of carious lesions
in molar teeth of hamsters (c.
auratus).
Publ. Hlth.Rep. (Wash.) 57, 1599
(1942)
3. Belle, H.v. New and sensitive reaction for auto-
matic determination of inorganic
phosphate and its application to
serum.
Anal. Biochem. 33, Nr. 1 (1970)
4. Bergmann, K.E. Fluor - ein essentielles Spurenele-
ment.
In: Kariesprophylaxe mit Fluorid
S. 11, Dez. 1978
5. Binder, K. Prophylaxe der Zahnkaries mit
Fluoriden.
Sonderdruck aus HIPPOKRATES 45,
366 (1974)
6. Brudevold, F.,
Gardner, G.,
Smith, F. The distribution of fluoride in
human enamel.
J. dent. Res. 35, 420 (1956)
7. Büttner, W. Fluoridstoffwechsel - gesundheits-
liche Aspekte der Fluorid-Anwen-
dung zur Kariesprophylaxe.
In: Kariesprophylaxe mit Fluorid
29 (1978)
8. Büttner, W. Aktuelle Fragen zum Fluoridstoff-
wechsel in Zusammenhang mit der
Kariesprophylaxe.
Zahnärztl. Welt/Rdsch. 78, 70 (1969)
9. Cammann, K. Das Arbeiten mit ionenselektiven
Elektroden.
Springer Verlag 1973
10. Cotton, F.A.,
Wilkinson, G. Anorganische Chemie.
Verlag Chemie GmbH. 2. Auflage
(1968)
11. Cox, G.J. In: J. Am. Water Works Assoc.,
31, 1926 (1939)

12. Dean, Th.,
Jay, P.,
Arnold, F.A.,
Elvolve, E. Domestic water and dental caries.
Publ. Hlth. Rep. 56, 365 u. 761
(1941)
13. Deninger, A. Fluor als Heil- und Vorbeugemittel
gegen Karies der Zähne.
Odontologische Blätter 14, 6 (1896)
14. Durst, R.A. Fluoride microanalysis by linear
nullpoint potentiometry.
Anal. chem. 40, 931 (1968)
15. Durst, R.A. Fluoride microelectrode-fabrication
and characteristics.
Anal. chem. 41, 2098 (1969)
16. Durst, R.A.,
Taylor, J.K. Modification of the fluoride ac-
tivity electrode for microchemical
analysis.
Anal. chem. 39, 1483 (1967)
17. Eichler, O.,
Appel, J. Über fluorhaltige Zahnpasta.
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 702 (1952)
18. Eichler, O.,
Appel, J. Über Fluoraufnahme in Zähne, die
mit fluorhaltiger Zahnpasta behan-
delt wurden.
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 708 (1952)
19. Engel, W.,
Newesely, H. Fluoridaustausch im Zahnschmelz
bei niedriger Fluorid-Dosierung.
Zahnärztl. Welt/Reform 87, 600
(1978)
20. Erhardt, J. In: Monatshefte für rationelle
Ärzte. 19, 359 (1874)
21. Gedalia, I.,
Kalderon, S. Fluoride in the surface enamel of
teeth from the same mouth.
J. dent. Res. 43, 44 (1964)
22. Gabovich, R.D.,
Ovrutskiy, G.D. Fluorine in Stomatology and Hygiene.
DHEW Publication No. (NIH) 78-785
U.S. Department of Health, Educa-
tion, and Welfare. (1977)
23. Gustafson, G.,
Stelling, E.,
Abramson, E.,
Brunius, E. Der Einfluß des Alters auf die
experimentelle Zahnkaries.
Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferhkk.
31, 124 (1959)

24. Gustafson, G.,
Stelling, E.,
Brunius, E. The pre- and post-eruptive effect
of bone meal on dental caries in
hamster fed an ordinary human diet.
Caries Res. 2, 338 (1968)
25. Gustafson, G.,
Stelling, E.,
Brunius, E. The effect of an artificial "bone-
meal" and its components on caries
incidence in the golden hamster.
Caries Res. 6, 244 (1972)
26. Hallsworth, A.S.
Weatherell, J.A.,
Deutsch, D. An ultrasensitive method of deter-
mining fluoride ion in mineralised
tissues.
J. dent. Res. 53, 1088 (1974)
27. Hallsworth, A.S.,
Weatherell, J.A.,
Deutsch, D. Determination of subnanogram
amounts of fluoride with the
fluoride electrode.
Anal. chem. 48, 1660 (1976)
28. Hargreaves, J.A.,
Weatherell, J.A. In: Edv. in Fluorine: Pes. and
Caries Prevent. 3, 247 (1965)
29. Heinrich, F. Über den Stand der Untersuchung
der Wässer und Gesteine Bayerns
auf Radioaktivität und über den
Slußspat vom Wölsenberg.
Zschr. f. angew. Ch. 8, 20 (1920)
30. Held, H.R. Der Durchtritt des Fluord durch
die Placenta und sein Übertritt in
die Milch.
Schweiz. med. Wschr. 12, 5 (1952)
31. Hinze, R. Die Wirkung von Fluoriden auf die
Kariesanfälligkeit der Molaren
von syrischen Goldhamstern.
Unveröffentlichte Dissertation
32. Hofmann, U.,
Rüdorff, W. Anorganische Chemie.
Verlag Vieweg & Sohn, 17. Auflage
(1963)
33. Horowitz, H.S. Fluorid: Research on public health
application.
J. Am. Dent. Ass. 87, 1013 (1973)
34. Jackson, D.,
Weidmann, S.M. The relationship between age and
the fluorine content of human
dentine and enamel: A regional
survey.
Brit. dent. J. 107, 303 (1959)

35. Jenkins, G.N.,
Speirs, R.L. Some observations on the fluoride
concentration of dental tissues.
J. dent. Res. 33, 734 (1954)
36. Karlson, P. Kurzes Lehrbuch der Biochemie.
Georg Thieme Verlag 8. Auflage (1972)
37. Keyes, P.H.,
Dale, P.P. Dentition of the syrian hamster.
J. dent. Res. 23, 209 (1944)
38. Keyes, P.H.,
Dale, P.P. A preliminary survey of the pouches
and dentition of the syrian hamster.
J. dent. Res. 23, 427 (1944)
39. Keyes, P.H. A method of recording and scoring
gross carious lesions in the molar
teeth of syrian hamster.
J. dent. Res. 23, 439 (1944)
40. Keyes, P.H. Dental caries in the syrian hamster,
I. the character and distribution
of lesions.
J. dent. Res. 25, 341 (1946)
41. Knappwost, A. Grundlagen der Resistenztheorie der
Karies mit einem Beitrag über karies-
hemmende Wirkung peroraler Fluorga-
ben.
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 670 (1952)
42. Knappwost, A. Zur Kenntnis der lokalen Fluorierung
durch Fluoride, Fluorsilikate und
fluorierte Zahnpasten.
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 681 (1952)
43. König, K.G. Fluorid als Umweltfaktor.
Sonderdruck: Das Öffentliche Ge-
sundheitswesen.
33, 146 (1971)
44. König, K.G.,
Marthaler, Th. M.,
Mühlemann, H.R. Methodik zur kurzfristig erzeugten
Rattenkaries.
Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferhkl. 29,
99 (1958)
45. Lebeau, J. Zitiert in: C. r. 121, 601 (1895)
46. Lingane, J. Further study of the lanthanum
fluoride membrane electrode for
potentiometric determination and
filtration of fluoride.
Anal. chem. 40, 935 (1968)
47. Mc Cann, H., Reactions of fluoride ion with
powdered enamel and dentin.
J. dent. Res. 34, 59 (1955)

48. Mc Clure, F.J. Fluorine in dentin and enamel of sound and carious human teeth. J. dent. Res. 27, 287 (1948)
49. Mc Clure, F.J. Fluorine in human teeth studied in relation to fluorine in the drinking water. J. dent. Res. 30, 172 (1951)
50. Marthaler, T.M. Karieshemmung nach fünf Jahren bei Gebrauch einer Aminfluoridzahnpaste. Schweiz. Mschr. Zahnhlk. 75, 509 (1965)
51. Mühlemann, H.R. Post-eruptive fluoridation. Brit. dent. J. 114, 216 (1963)
52. Mühlemann, H.R. Fortschritte mit Fluorzahnpasten? Schweiz. Mschr. Zahnhlk. 73, 383 (1963)
53. Mühlemann, H.R. Die kariesprophylaktische Wirkung der Aminfluoride I - IV. Quintessenz 18, 113, 123, 109 u. 109 (1967)
54. Naujoks, R. Kariesprophylaxe durch Fluoridanwendung. in: Kariesprophylaxe mit Fluorid 5 (1978)
55. Newesely, H. Ist Fluor ein essentieller Spurenbestandteil des physiologischen Milieus? Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1483 (1967)
56. Newesely, H. Mechanism and action of trace elements in the mineralisation of dental hard tissues. Zyma SA Nyon 66 (1972)
57. Orland, F.J. A study of the hamster, its molars and their lesions. J. dent. Res. 25, 445 (1946)
58. Perdock, W.G. Kristallographische Gesichtspunkte der Verkalkung. Arch. oral Biol. Suppl. ORCA Kongress Paris. 85 - 93 (1962)
59. Pilz, W.,
 Plathner, C.H.
 Taatz, H. Grundlagen der Kariologie und Endodontie. Carl Hansa Verlag 2. Auflage (1975)
60. Pilz, W. Kariesreduktion und Kariesprophylaxe durch Fluoridierung und andere geeignete Maßnahmen. Dtsch. Stomat. 14, 379 (1964)

61. Raby, B.,
Sunderland, W. Direkt determination of fluoride
in tungsten using the fluoride ion
activity electrode.
Anal. chem. 39, 1304 (1967)
62. Rathje, W. Zur Verminderung der Kariesanfälligkeit
durch fluoridhaltiges Trinkwasser.
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 693 (1952)
63. Rathje, W. Zur Chemie der Fluorierung des
Zahnschmelzes.
Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 289 (1955)
64. Schmidt, H.F.M. Möglichkeiten zur Fluoridanwendung.
In: Kariesprophylaxe mit Fluorid.
39 (1978)
65. Schmidt, H.F.M. Das Fluor-Lack-Verfahren und seine
kariesprophylaktischen Anwendungsmöglichkeiten.
Zahnärztl. Mitt. 59, 633 (1969)
66. Schmidt, M. Anorganische Chemie I + I.
Bibliographisches Institut Mannheim (1967)
67. Singer, L.
Armstrong, W.D. Determination of fluoride in bone
with the fluoride electrode.
Anal. chem. 40, 613 (1968)
68. Stiefenhofer, H. Photonabsorptiometrische Untersuchung
des Mineralgehalts im Femurpräparat von
syrischen Goldhamstern nach Trinkwasserfluoridierung.
Zahnmed. Dissertation FU Berlin
(1980)
69. Taatz, H. Vergleichende histologische Untersuchungen
bei Zähnen von homo und cricetus auratus.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 266 (1959)
70. Taatz, H. Morphologische und experimentelle
Beiträge zur Erforschung der Karies
beim syrischen Goldhamster.
Hab. schrift. Halle 1960
71. Taatz, H. Histologische Studien an Nagezähnen
der syrischen Goldhamster.
Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferhkl.
36, 17 (1961)
72. Trautner, K. Persönliche Mitteilung an den
Verfasser zu Fragen aus der Literatur
und des Versuchansatzes.
73. Weatherell, J.A.,
Robinson, C.,
Hallsworth, A.S. Zur Fluoridanreicherung des Zahn-
schmelzes.
Dtsch. Stomat. 21, 103 (1971)

74. Weatherell, J.A.,
Robinson, C.,
Hallsworth, A.S. Changes in the fluoride concentration of the labial enamel surface with age.
Caries Res. 6, 312 (1972)
75. Weatherell, J.A.,
Hallsworth, A.S.,
Robinson, C. The effect of tooth wear on the distribution of fluoride in the enamel surface of human teeth.
Arch. oral. Biol. 18, 1175 (1973)
76. Wespi, H.J. In: Therapie der Gegenw. 102, 1020,
1153 (1963)
77. Wespi, H.J. Fluor-Vollsalz zur Kropf- und Karies-
bekämpfung.
Benno Schwabe Verlag Basel (1956)
78. Westphal, W.H. Physikalisches Praktikum.
Vieweg & Sohn Verlag 12. Auflage
(1966)
79. Yoon, S.H.,
Brudevold, F.,
Gardner, D.E.,
Smith, F.A. Distribution of fluoride in teeth
from areas with different levels
of fluoride in the water supply.
J. dent. Res. 39, 845 (1960)
80. Yoon, S.H.,
Brudevold, F.,
Gardner, D.E.,
Smith, F.A. Fluoride in enamel, coronal dentin,
and roots of human teeth.
J. dent. Res. 37, 25 (1958)
81. Ziegler, E. Die Milchfluoridierung.
Dtsch. Stomat. 7, 285 (1957)
82. Ziegler, E. Bericht über den Winterthurer
Großversuch mit Fluorzugabe zur
Haushaltsmilch.
Helv. paediat. Acta 19, 343 (1964)

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. Dr. R. Harndt danke ich aufrichtig für die Überlassung des Themas und für die hilfsbereite Unterstützung bei dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. H. Newesely gilt mein Dank für das Bereitstellen der labortechnischen Geräte und für die Vermittlung notwendiger Literatur.

Besonderen Dank gebührt Herrn Dr. W. Engel. Seine hilfsbereite Anleitung, stetige Anregung und konstruktive Kritik haben den Fortgang der Untersuchung wesentlich erleichtert.

Für ihre Hilfsbereitschaft danke ich auch allen weiteren Mitarbeitern des Fachbereiches, die indirekt mit dieser Arbeit befaßt waren.

Lebenslauf

- 1947 Am 10. November 1947 wurde ich mit einem Zwilling Bruder als erstes Kind des Kaufmanns Bertram Sachs jun. und seiner Gattin Anna-Elisabeth geb. Schlager geboren.
- 1954 - 1958 Besuch der Volksschule Frauentormauer Nürnberg.
- 1958 - 1967 Besuch des Neuen Humanistischen Gymnasiums Nürnberg.
- 1967 Am 6. Juli 1967 bestand ich dort das Abitur.
- 1967 - 1973 Aufnahme des Studiums im Fach Chemie an der TU Berlin.
- 1973 Am 5. Juni 1973 beendete ich mit dem akademischen Titel "Dipl. Chemiker" das Studium der Chemie.
- 1973 - 1974 Studium im Fach Zahnheilkunde an der Maximilian Universität München.
- 1974 Fortsetzung des Studiums der Zahnheilkunde an der FU Berlin.
- 1975 Am 7. Oktober 1975 bestand ich an der FU Berlin die zahnärztl. Vorprüfung.
- 1978 Am 14. Juli 1978 bestand ich an der FU Berlin die zahnärztl. Prüfung.
- 1978 - Seit dem 27. Oktober 1978 arbeite ich als wissenschaftlicher Assistent in der Abteilung für konservative Zahnheilkunde und Parodontologie der Zahnklinik der FU Berlin.

